

**RESPUESTA DEL CULTIVO DE MAIZ A LA FERTILIZACION
NITROGENADA EN LA PAMPA ONDULADA
CAMPAÑAS 1980/81 - 1983/84
I - ANALISIS DE LOS RESULTADOS ***

I. Mizuno; C. Vollert; C. Baumann Fonay; D. Zourarakis;
A. Lapolla; Liliana Marban y J. Minteguiaga (1)

Recibido: 15/10/84

Aceptado: 8/4/85

RESUMEN

Se presentan los resultados correspondientes a los experimentos de campo realizados a lo largo de las cuatro últimas campañas agrícolas dentro del marco del Programa de Investigación Experimental sobre Fertilización en el cultivo de maíz.

La dosis de nutrientes estudiadas fueron de 0,60 y 120 kg N/ha (Campaña 1980/81) y 0,40 y 80 kg N/ha (restantes campañas), mientras que predominaron los materiales genéticos Dekalb, Cargill y Morgan.

La red de ensayos, ubicada en la Pampa Ondulada, cubrió 31 situaciones sometidas a diversas combinaciones de factores culturales, edáficos y climáticos los que sufrieron una marcada variación a lo largo de los distintos años.

Variaciones concomitantes fueron registradas tanto en el promedio de los rendimientos del tratamiento testigo (70, 61, 59 y 54 qq/ha, en cada uno de los respectivos años), como en la eficiencia de la primera dosis (7,8; 15,1; 10,9 y 15,3; respectivamente).

Se determinó, a través del análisis de regresión del rendimiento en función de la dosis de N que el modelo parabólico presentó, en relación a otros modelos, el mejor ajuste a los datos individuales. Sin embargo, al efectuar un análisis de la población total de ensayos no fue posible obtener un buen ajuste a través de los modelos estudiados.

Se demuestra finalmente la necesidad de elaborar modelos multivariados para explicar el hecho de que al pasar de la población de ensayos con respuesta significativa a los restantes, tanto los promedios de la eficiencia como del rendimiento del testigo presentan una marcada discontinuidad (de más de 20 a menos de 6 y de 51 a 69 qq/ha, respectivamente).

* Este trabajo forma parte del Programa de Investigación Experimental sobre Fertilización del Maíz, desarrollado por la Cátedra de Fertilidad y Fertilizantes de la Facultad de Agronomía (U.B.A.), con el apoyo del Laboratorio de Química Geológica y Edafológica (FECIC-CONICET), los grupos del CREA Pergamino-Colón, Santa Isabel y Rojas y las empresas Santa Juana Agropecuaria S.A. e Híbridos Cargill S.A., cuya coordinación llevan a cabo los Ings. Agrs. Luis A. Barberis, Enrique Chamorro y Carlos W. Vollert y con la supervisión del Ing. Agr. Ichiro Mizuno. Su costo fue parcialmente financiado por subsidios de la Universidad de Buenos Aires y el CONICET.

1) Departamento de Suelos, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, Av. San Martín 4453, (1417) Buenos Aires, Argentina.

**MAIZE RESPONSE TO NITROGEN FERTILIZATION
IN THE "ROLLING PAMPA", ARGENTINA
YEARS 1980/81 THROUGH 1983/84
I - ANALYSIS OF RESPONSE FUNCTIONS**

SUMMARY

The authors base their conclusions on the information collected during four years of field trials carried out by the Project for Experimental Research of maize response to Fertilizers.

In 1980/81 the effect of 0.60 and 120 kg/ha-N fertilizer rates was studied, while in the rest of the years doses were fixed at 0.40 and 80 kg N/ha. Standard Dekalb, Cargill and Morgan hybrids were used in the trials.

A selected group of 31 experimental sites was distributed over the region commonly known as "Rolling Pampa", which covers the N.W. of the Buenos Aires province and the S.E. of the Santa Fe province. Different combinations of soils, climate and crop managements occurred. Therefore, high variability was measured in the control yields (70, 61, 59 and 54 qq/ha) in each one of the different years) and in the conversion efficiency data, as well (7,8; 15,1; 10,9 and 15,3 kg grain/kg N).

Regression analysis of the data showed that the parabolic model fitted better than the linear or logarithmic models. Similar analysis of the overall data yielded equations with poor coefficients of determination (R^2).

The authors finally emphasize the need to develop multivariate models in order to explain the differences observed in the average control yields and conversion efficiencies for both the groups of trials with significant and non-significant response (more than 20 to less than 6, from 51 to 69 qq/ha, respectively).

INTRODUCCION

El abundante material publicado hasta el presente en la literatura técnica en relación con el estudio del rendimiento del cultivo de maíz en la Pradera Pampeana (Puricelli *et al.*, 1965; Novello *et al.*, 1979; Vivas *et al.*, 1980; Senigaglia *et al.*, 1979; Berardo *et al.*, 1974), evidencia que la respuesta de este cultivo a la fertilización nitrogenada está condicionada por un elevado número de factores.

Limitantes de orden meteorológico, cultural y edáfico interaccionan de modo complejo influyendo sobre los resultados de las experiencias de fertilización (Zaffanella, 1975), las que habitualmente están implementadas simulando las condiciones del gran cultivo bajo la forma de ensayos de campo.

El control local lleva a la convalidación de ensayos donde las adversidades no hayan comprometido seriamente la validez de los datos recogidos. La información resultante

es usualmente procesada bajo la forma de ecuaciones de regresión descriptivas de la respuesta a la adición de abonos nitrogenados (Novello *et al.*, 1979).

Esta interpretación primaria del fenómeno de respuesta representa un insoslayable paso previo a cualquier intento por desarrollar una metodología de diagnóstico, tendiente a predecir la necesidad de una abonadura nitrogenada y la respuesta del maíz a esta práctica (Bonel *et al.*, 1977).

Este trabajo tiene como principal objetivo aportar información relacionada con el comportamiento del cultivo de maíz frente a la aplicación de fertilizantes nitrogenados en el ámbito de la Pampa Ondulada.

Se intentará producir dicha información tanto a través de la caracterización cualitativa de la respuesta detectada en cada experimento individual como de la formulación de modelos estadísticos multivariados que respondan por la interacción con las otras variables ambientales.

MATERIALES Y METODOS

Durante las campañas agrícolas 1980/81, 1981/82, 1982/83 y 1983/84 y dentro del marco del Programa de Investigación Experimental de Fertilización en Maíz se realizaron 31 ensayos de campo con el objeto de estudiar la respuesta del maíz a la fertilización nitrogenada.

El área explorada por el programa abarcó la Pampa Ondulada, coincidiendo en forma más o menos aproximada con la zona denominada "núcleo maicero". En la Figura 1 se puede apreciar la distribución espacial del conjunto de ensayos realizados.

Integraron la red de establecimientos agropecuarios situados en diferentes localidades de las provincias de Buenos Aires y Santa Fe, lo que determinó que los experimentos de campo se desarrollaran sobre suelos pertenecientes a distintas series. En el Cuadro 1 se brinda un detalle de esta información.

En todos los casos se empleó un diseño experimental en Bloques Completos con 3 repeticiones, cada una de las cuales consistió en una parcela cuya superficie aproximada fue de 1 hectárea. Los diferentes tratamientos estuvieron representados por las dosis de 0,60 y 120 kg N/ha en la campaña 1980/81 y 0,40 y 80 y en algunos casos 120 kg N/ha en las restantes campañas.

Los fertilizantes empleados como fuente nitrogenada fueron urea o amoníaco anhidro aplicados, según fuera el caso, alrededor del momento de la siembra o hasta que el cultivo tuviera no más de 3-5 hojas desarrolladas. Los materiales genéticos sembrados pertenecieron a diferentes marcas comerciales: Dekalb (61 por ciento), Cargill (36 por ciento) y Morgan (3 por ciento); la densidad de plantas logradas a cosecha promedió las 56.000 por hectárea en las 4 campañas.

Los rendimientos correspondientes a cada repetición fueron obtenidos por pesada

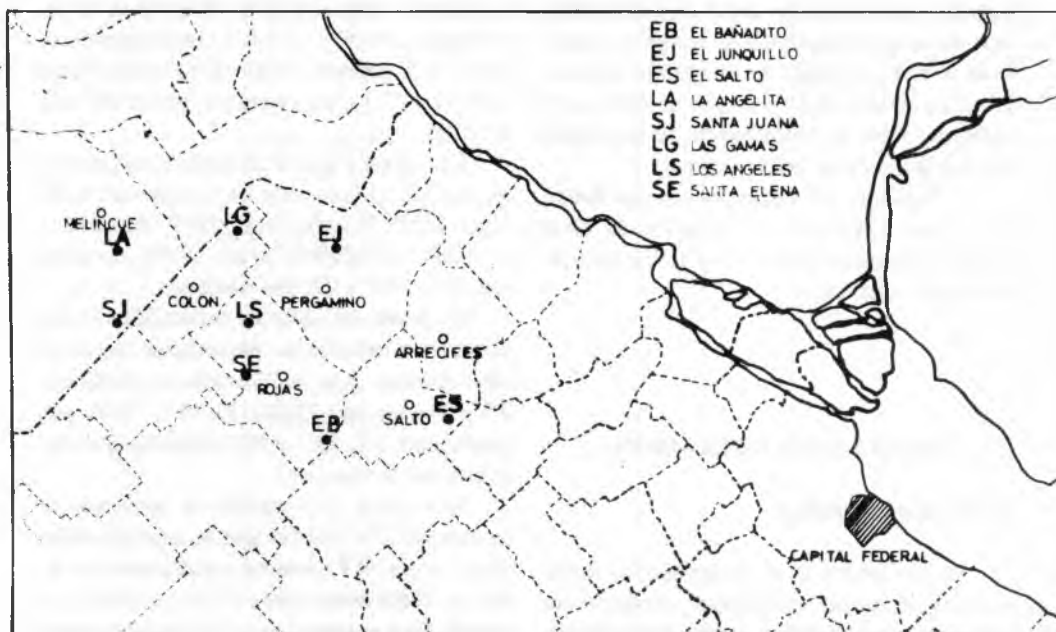


Figura 1: Ubicación geográfica de los establecimientos que integraron el Programa de Investigación Experimental de Fertilización en Maíz durante las campañas agrícolas 1980/81 - 1983/84.

CUADRO 1: Localidades y series de suelo sobre las que se desarrollaron los ensayos de campo y el número de éstos efectuado en cada establecimiento.

Establecimiento	Localidad	Partido / Departamento	Provincia	Número de ensayos	Serie de suelos
El Salto	Gahan	Salto	Buenos Aires	8	Arroyo Dulce
Santa Elena	Rojas	Rojas	Buenos Aires	6	Rojas
Los Angeles	Rojas	Rojas	Buenos Aires	2	Rojas
El Bañadito	Inés Indart	Rojas	Buenos Aires	1	Rojas
Santa Juana	Colón	Colón	Buenos Aires	6	Delgado
Las Gamas	Colón	Colón	Buenos Aires	1	Wheelwright
El Junquillo	12 de Agosto	Pergamino	Buenos Aires	3	Pergamino
La Angelita	Hughes	Gral. López	Santa Fe	4	Hughes

individual del grano cosechado en cada una de las parcelas y el rendimiento promedio de cada tratamiento de fertilización fue calculado a través del promedio de las repeticiones.

Los valores de eficiencia de conversión a la primera y segunda dosis (kg grano/kg N aplicado) fueron calculados efectuando el cociente entre el incremento de rendimiento con respecto al tratamiento testigo (dosis de 0 kg N/ha) y la dosis de nitrógeno aplicada. El rendimiento relativo surgió de efectuar el cociente entre el rendimiento de la primera dosis y el del tratamiento testigo.

Ecuaciones de regresión correspondientes a cada población o conjunto de datos fueron obtenidas mediante la estimación por mínimos cuadrados.

RESULTADOS Y DISCUSION

a) Respuesta individual

En el Cuadro 2 se presentan los rendimientos promedio, eficiencias y rendimiento relativo correspondiente a cada dosis de fertilizante empleada. Se consignan tanto los valores individuales como los promedios de cada campaña y del total de ensayos.

A través de las 4 campañas estudiadas los rendimientos del testigo (RT) oscilaron entre 5.438 y 7.008 kg/ha promediando los 6.075 kilogramos por hectárea. La eficiencia a la primera dosis (EF1) lo hizo entre 7,77 y 15,28 kg maíz/kg N con un promedio en 12,37 kg de grano/kg N; para la eficiencia a la segunda dosis (EF2) se observaron cifras extremas de 4,30 y 12,54. El rendimiento relativo a la primera dosis (RR) osciló entre 1,072 y 1,133 y su promedio tomó un valor de 1,103.

Los valores de RT obtenidos son mayores que los hallados por otros autores (Vivas *et al.*, 1980; Novello *et al.*, 1979; Puricelli *et al.*, 1965; Senigaglia *et al.*, 1979), en tanto que EF1, EF2 y RR son menores.

En cuanto al grado de variabilidad de los parámetros estudiados, presentaron un notable contraste. Los coeficientes de variación (CV) fueron de 25,98; 91,79 y 9,06 por ciento para RT, EF1 y RR, respectivamente, en el total de ensayos.

Al analizar lo ocurrido en cada una de las campañas se observa que se repite lo señalado, ya que RT presentó coeficientes de variación fluctuantes entre 18,61 y 36,43 por ciento, EF1 entre 62,15 y 102,74 por ciento y RR lo hizo entre 6,82 y 12,24 por ciento.

Un rasgo frecuente estuvo dado por el hecho de que la curva de rendimientos en

CUADRO 2: Resultados generales obtenidos en cada uno de los ensayos.
Rendimientos en kg maíz/ha, eficiencias de conversión en kg grano/kg N.

Ensayo	Rendimientos			Eficiencias		
	0 kg N/ha	60 kg N/ha	120 kg N/ha	EF1	EF2	RR
El Salto 25IC	5.734	6.495	6.693	12,68	7,99	1,133
Santa Juana 68C	6.128	7.290	7.241	19,37	9,28	1,190
Santa Juana 56C	7.411	7.688	7.793	4,62	3,18	1,037
El Salto 25E	9.192	9.412	9.147	3,67	-0,38	1,024
El Salto 25IR	6.056	6.064	6.423	0,13	3,06	1,001
Santa Juana 56R	7.526	7.893	7.848	6,12	2,68	1,049
Campaña 1980/81	7.008	7.474	7.524	7,77	4,30	1,072
Promedio C.V.	18,61	15,78	13,01	90,42	84,29	6,82

Ensayo	Rendimientos				Eficiencias		
	0 kg N/ha	40 kg N/ha	80 kg N/ha	120 kg N/ha	EF1	EF2	RR
Santa Elena 12DC	6.547	7.321	7.806	-	19,35	14,74	1,118
El Junquillo M7	3.781	5.168	5.612	-	34,68	22,89	1,367
El Junquillo 8	5.669	6.449	7.071	-	19,50	17,53	1,138
Santa Juana 82	3.892	4.859	4.982	-	24,18	13,63	1,248
Santa Elena 12DR	5.234	6.580	7.177	-	33,65	24,29	1,257
El Salto 25M	8.140	8.254	8.725	-	2,85	7,31	1,014
El Salto 25F	7.854	7.452	7.676	-	-10,05	-2,23	0,949
El Bañadito	5.726	6.286	6.555	-	14,00	10,36	1,098
El Salto 25M	8.305	8.219	8.574	-	-2,15	3,36	0,990
Campaña 1981/82	6.128	6.732	7.131	-	15,11	12,54	1,131
Promedio C.V.	28,04	17,93	17,63	-	102,74	69,97	12,24
El Junquillo 8	4.583	5.457	4.577	-	21,85	0,75	1,191
Los Angeles 2	4.714	5.265	5.649	-	13,78	11,69	1,117
La Angelita 20B	6.118	7.449	7.540	-	33,28	17,78	1,218
Santa Elena 20C	5.251	5.438	5.453	-	4,68	2,53	1,036
Santa Juana 10	6.877	7.501	7.258	7.531	15,60	4,76	1,090
El Salto 25JC	5.449	5.381	5.459	5.456	-1,70	0,13	0,988
Santa Elena 19	4.998	5.135	5.245	-	3,43	3,09	1,027
La Angelita 24B	8.836	9.059	9.215	-	5,58	4,74	1,025
El Salto 25JR	6.393	6.626	6.653	6.566	5,83	3,25	1,036
Santa Elena 20R	5.293	5.567	5.453	-	6,85	2,00	1,052
Campaña 1982/83	5.851	6.288	6.250	-	10,92	5,07	1,078
Promedio C.V.	21,91	21,03	22,44	-	95,32	108,38	7,03
La Angelita 22B	4.867	5.237	5.500	5.314	9,25	7,91	1,076
La Angelita 29B	4.348	5.558	5.899	5.520	30,25	19,39	1,278
Santa Elena LP7	3.946	4.710	4.663	-	19,10	8,96	1,194
Las Gamas 1	4.321	4.845	5.098	4.786	13,10	9,10	1,121
Santa Juana 54	9.234	9.330	9.176	8.691	2,40	-0,73	1,010
Los Angeles 25	5.910	6.614	6.647	-	17,60	9,21	1,119
Campaña 1983/84	54,38	6.049	6.164	-	15,28	9,08	1,133
Promedio C.V.	36,43	28,85	26,37	-	62,15	70,44	8,23
Campañas 1980/81							
1983/84	6.075	6.600	-	-	12,37	-	1,103
Promedio C.V.	25,98	20,90	-	-	91,79	-	9,06

función de la dosis de N aplicada presentó en general una tendencia curvilínea. Esto determinó que la eficiencia a la segunda dosis (EF2) tuviera valores menores que EF1.

Se procedió, con el fin de detectar la presencia de respuesta significativa a la fertilización y susceptible de ser traducida en algún modelo matemático, a regresar el rendimiento sobre la dosis de nitrógeno. Fueron considerados 3 diferentes modelos para cada conjunto de valores.

El primer modelo, que se denominará "lineal", tiene la forma:

$$\text{Rendimiento} = b_0 + b_1 \cdot N \quad (\text{I})$$

Los otros dos modelos contemplan efectos no lineales sobre la respuesta.

$$\text{Rendimiento} = b_0 + b_1 \cdot \ln(N) \quad (\text{II})$$

o modelo "logarítmico"

$$\text{Rendimiento} = b_0 + b_1 \cdot N + b_2 \cdot N^2 \quad (\text{III})$$

o modelo "parabólico"

Cada uno de los análisis de regresión efectuados arrojó una "F" de regresión, un coeficiente de determinación R^2 , un cuadrado medio residual (CMR) y "F" parciales para cada estimador del modelo parabólico.

El coeficiente de variación (CV) de cada ensayo fue obtenido efectuando el cociente entre la raíz cuadrada del CMR (S_e) y el promedio de rendimientos del ensayo. Se calcularon, asimismo, las eficiencias "estimadas" o "esperadas" para la primera dosis según los 3 modelos estudiados E_L , E_{LN} y E_P (Eficiencia en el modelo lineal, logarítmico y parabólico).

En el Cuadro 3 se presentan las ecuaciones y los parámetros mencionados. Se indica, asimismo, la significancia para niveles de $\alpha = 5$ y 1 por ciento, donde correspondiese.

Entre un 33 y un 56 por ciento de los ensayos presentó respuesta significativa a la fertilización, dependiendo del año. Existe

una coincidencia notable en el nivel de significancia de los 3 modelos, ya que raramente ajusta uno de ellos en forma exclusiva.

Si bien fue necesaria la eliminación de datos de rendimiento anómalos que introducían heterogeneidad de variancia en algunos casos, sólo un ensayo (El Salto 25JC) mantuvo valores mucho menores que la unidad para la "F" de regresión, sin deberse ello a una formulación inadecuada del modelo. En el resto de los ensayos las "F" de regresión adquirieron valores aceptables al pasar del modelo lineal a los modelos curvilíneos.

En la gran mayoría de los casos se observó un marcado aumento del coeficiente de determinación (R^2) al pasar del modelo lineal al logarítmico y de éste al parabólico, lo que reafirma la naturaleza curvilínea de la función de rendimientos. Se aprecia un notable contraste entre el R^2 de los ensayos con respuesta significativa y el de aquellos que no la presentaron. En el primer caso el R^2 no fue inferior al 50 por ciento mientras que en el segundo grupo el límite superior rara vez superó al 40 por ciento.

Con respecto al coeficiente de variación CV, puede apreciarse que se mantuvo en general por debajo del 10 por ciento. No pudo detectarse una asociación importante entre la magnitud del CV y la significancia de la "F" de regresión. Esta tendencia se mantuvo para el S_e .

La calidad de la estimación de la eficiencia lograda a través de cada uno de los modelos estudiados puede apreciarse en las Figuras 2, 3 y 4, donde se han graficado los puntos correspondientes a las eficiencias "reales" (EF1) versus las eficiencias "estimadas" a través de cada modelo: E_L , E_{LN} y E_P . Sobresale el modelo parabólico por su ajuste casi perfecto, en tanto que el correspondiente a los modelos logarítmico y lineal se presentan como más o menos deficientes. Se destaca asimismo, la coherencia en el comportamiento de todos los casos, trátase o no de ensayos con respuesta.

CUADRO 3: Análisis de regresión individual.

Ensayo	Modelo	b ₀	b ₁	b ₂	R ²	F _{reg.}	S _e	CV	E(L, LN, P)
Campaña 1980/81									
El Salto 25IC	L	5.816,34	8,299 ++		55,41	11,19 ++	387,90	6,18	8,30
	LN	5.729,43	194,156 ++		61,95	14,65 ++	358,35	5,71	13,25
	P	5.716,02	17,808 +()	-0,08055	62,18	6,58	378,91	6,04	12,98
Santa Juana 68	L	6.324,16	9,321 ++		69,85	16,22 ++	337,37	4,90	9,32
	LN	6.145,72	250,231 ++		95,18	138,08 ++	134,96	1,96	17,08
	P	6.098,29	30,312 ++	-0,17241 ++	98,04	150,37 ++	92,82	1,35	19,97
Santa Juana 56C	L	7.437,46	3,206		19,81	1,73	355,31	4,66	3,21
	LN	7.407,20	75,555		20,81	1,84	353,10	4,63	5,16
	P	7.405,16	6,193	-0,02465	21,19	0,81	380,45	4,99	4,71
El Salto 25E	L	9.273,53	-0,383		0,25	0,04	390,62	4,22	-0,38
	LN	9.213,01	12,646		0,53	0,08	390,09	4,22	0,86
	P	9.183,82	7,914	-0,0685	9,86	0,82	383,53	4,15	3,80
El Salto 25IR	L	5.994,44	3,092		24,62	2,29	298,09	4,82	3,09
	LN	6.030,73	50,757		12,54	1,00	321,08	5,19	3,46
	P	6.058,81	-2,862	0,04915	31,95	1,41	305,91	4,95	0,09
Santa Juana	L	7.593,45	2,691		20,78	1,84	289,40	3,73	2,69
	LN	7.534,20	74,842		30,40	3,06	271,26	3,50	5,11
	P	7.516,96	9,765	-0,05839	32,32	1,43	288,91	3,73	6,26

CUADRO 3: Análisis de regresión individual (continuación).

Ensayo	Modelo	b ₀	b ₁	b ₂	R ²	F _{reg.}	S _e	CV	E(L, LN, P)
Campana 1981/82									
Santa Elena 12DC	L	6.582,66	15,920 ++		74,24	20,17 ++	342,98	4,75	15,92
	LN	6.520,95	261,617 ++		71,29	17,38 ++	362,10	5,01	24,13
	P	6.523,23	23,871 ++	-0,09795	75,70	9,35 +	359,80	4,98	19,95
El Junquillo M7	L	3.920,99	23,130 ++		81,46	30,75 ++	403,57	8,31	23,13
	LN	3.766,92	404,032 ++		88,38	53,26 ++	319,43	6,58	37,26
	P	3.733,04	48,274 ++	-0,30978	89,05	24,41 ++	334,92	6,90	35,88
El Junquillo B	L	5.681,04	17,737 ++		88,87	55,88 ++	229,58	3,59	17,74
	LN	5.632,51	283,957 ++		80,99	29,82 ++	300,03	4,69	26,19
	P	5.646,73	22,327 ++	-0,05654	89,34	25,14 ++	242,69	3,79	20,07
Santa Juana 82	L	4.011,49	14,576 ++		63,00	10,22 ++	397,35	8,78	14,58
	LN	3.896,05	254,586 ++		76,12	19,13 ++	319,20	7,05	23,48
	P	3.856,57	36,037 +	-0,27461	76,26	8,03 +	348,68	7,70	25,05
Santa Elena 12DR	L	5.340,68	24,545 ++		66,06	13,63 ++	643,33	10,16	24,55
	LN	5.208,26	417,205 ++		67,87	14,79 ++	625,97	9,89	38,48
	P	5.190,25	44,670 +(+)	-0,24794	69,57	6,86 +	658,02	10,39	34,75
El Salto 25MC	L	8.056,57	7,429		52,47	5,52	249,81	2,99	7,43
	LN	8.097,21	91,299		29,26	2,07	304,76	3,65	8,42
	P	8.141,58	-1,608	0,11226	60,48	3,06	254,68	3,05	2,80
El Salto 25F	L	7.750,74	-2,229		4,27	0,45	372,70	4,87	-2,23
	LN	7.831,53	-63,448		12,31	1,40	356,71	4,66	-5,85
	P	7.872,87	-18,567	0,20129	22,39	1,30	353,74	4,62	-10,52
El Bañadito	L	5.786,29	10,181		26,16	2,13	609,60	9,76	10,18
	LN	5.707,31	178,316		26,48	2,16	608,29	9,74	16,44
	P	5.707,76	18,338	-0,09685	27,56	0,95	661,45	10,59	14,46
El Salto 25MR	L	8.227,78	3,424		13,56	1,10	316,11	3,78	3,42
	LN	8.276,52	33,220		4,54	0,33	332,20	3,97	3,06
	P	8.312,81	-7,951	0,14015	25,38	1,02	317,25	3,79	-2,35

CUADRO 3: Análisis de regresión individual (continuación).

Ensayo	Modelo	b ₀	b ₁	b ₂	R ²	F _{reg.}	S _e	CV	E(L, LN, P)
Campaña 1982/83									
El Junquillo 8	L	4.878,84	-0,170		0,01	0,00	570,49	11,70	-0,17
	LN	4.662,87	77,735		8,83	0,68	544,76	11,18	7,17
	P	4.537,77	45,459	-0,56216 +	67,51	6,24 +	351,23	7,21	22,97
Los Angeles 2	L	4.732,18	11,830 +		76,43	22,70 +	240,25	4,61	11,83
	LN	4.692,40	192,146 ++		71,70	17,73 ++	263,27	5,05	17,72
	P	4.697,60	16,457 ++	-0,05700	77,35	10,25 +	254,37	4,88	14,18
La Angelita 20B	L	6.311,92	17,941 ++		77,79	24,52 ++	350,58	4,98	17,94
	LN	6.129,84	336,661 ++		97,40	262,32 ++	119,93	1,71	31,05
	P	6.067,42	50,651 ++	-0,40299 ++	98,20	163,24 ++	107,94	1,53	34,53
Santa Elena 20C	L	5.277,52	2,552		40,53	4,77	113,04	2,10	2,55
	LN	5.252,19	47,674 +		50,30	7,09 +	103,34	1,92	4,40
	P	5.243,64	7,084	-0,05584	50,62	3,08	111,26	2,07	4,85
Santa Juana 10	L	7.031,67	4,317		13,94	1,62	521,61	7,15	4,32
	LN	6.896,22	123,041		20,68	2,61	500,75	6,87	11,35
	P	6.937,16	11,066	-0,05573	16,84	0,91	540,46	7,41	8,84
El Salto 25JC	L	5.408,41	0,770		2,65	0,22	227,82	4,18	0,77
	LN	5.433,16	5,285		0,25	0,02	230,61	4,23	0,49
	P	5.443,63	-1,955	0,02312	5,71	0,21	239,69	4,40	-1,03
Santa Elena 19	L	5.000,13	3,121		23,17	2,11	207,84	4,05	3,12
	LN	4.991,83	49,873		21,04	1,87	210,70	4,11	4,60
	P	4.994,46	3,878	-0,00933	23,28	0,91	224,33	4,38	3,50
La Angelita 24B	L	8.843,50	4,789		36,02	3,94	233,46	2,58	4,79
	LN	8.827,29	77,826		33,82	3,58	237,44	2,63	7,18
	P	8.829,34	6,683	-0,02333	36,46	1,72	251,29	2,78	5,75
El Salto 25JR	L	6.477,76	1,359		4,53	0,47	303,46	4,63	1,36
	LN	6.406,68	47,591		10,14	1,13	294,41	4,49	4,39
	P	6.390,90	7,562	-0,05122	12,57	0,65	306,11	4,67	5,51
Santa Elena 20R	L	5.357,05	1,996		15,15	1,25	172,76	3,18	2,00
	LN	5.306,03	48,887		32,31	3,34	154,30	2,84	4,51
	P	5.281,33	12,125	0,12479	45,93	2,55	148,96	2,74	7,13

CUADRO 3: Análisis de regresión individual (continuación)

Ensayo	Modelo	b ₀	b ₁	b ₂	R ²	F _{reg.}	S _e	CV	E(L, LN, P)
Campana 1983/84									
La Angelita 22B	L	4.987,18	4,021		32,08	4,72	284,43	5,44	4,02
	LN	4.868,62	112,237 +		45,67	8,41 +	254,39	4,86	10,35
	P	4.835,88	14,824	-0,08922	51,85	4,85 +	252,44	4,83	11,26
La Angelita 29B	L	4.749,18	9,664 +		42,30	7,33 +	548,81	10,29	9,66
	LN	4.387,40	293,665 ++		71,35	24,91 ++	386,71	7,25	27,08
	P	4.317,84	40,465 ++	-0,25435 ++	78,96	16,89 ++	349,33	6,55	30,29
Santa Elena LP7	L	4.074,98	9,028		39,09	4,49	412,10	9,28	9,03
	LN	3.960,30	177,977 ++		54,03	8,23 +	358,03	8,07	16,41
	P	3.915,58	30,353	-0,26274	56,31	3,87	377,00	8,49	19,84
Las Gamas 1	L	4.542,95	3,943		13,59	1,10	477,20	10,00	3,94
	LN	4.342,00	131,506		27,18	2,61	438,09	9,18	12,13
	P	4.284,05	20,101	-0,13155	34,04	1,55	450,33	9,44	14,84
Santa Juana 54	L	9.379,31	-4,507		19,31	2,39	447,93	4,92	-4,51
	LN	9.303,39	-60,086		6,43	0,69	482,36	5,30	-5,54
	P	9.223,73	6,602	-0,09174	29,33	1,87	441,90	4,85	2,93
Los Angeles 25	L	6.015,24	9,297		32,02	3,30	495,39	7,75	9,30
	LN	5.917,30	175,789		40,71	4,81	462,65	7,24	16,21
	P	5.882,88	27,004	-0,21816	41,19	2,10	497,70	7,79	18,28

+ significativo al 5 por ciento.

++ significativo al 1 por ciento.

() cercano al límite significativo indicado.

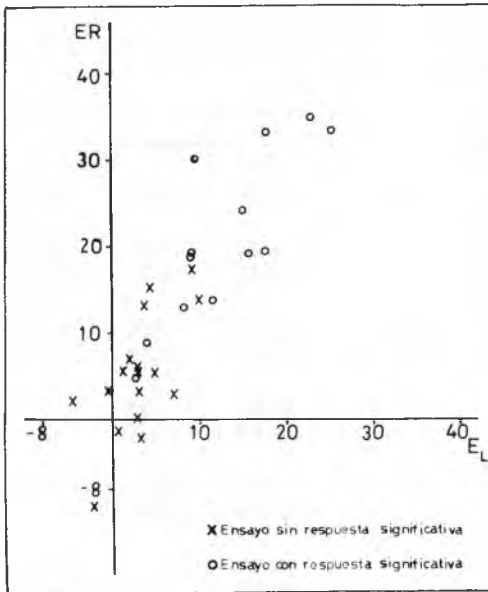


Figura 2: Relación entre la eficiencia medida a la primera dosis (ER) y la estimada mediante el modelo lineal (E_L).

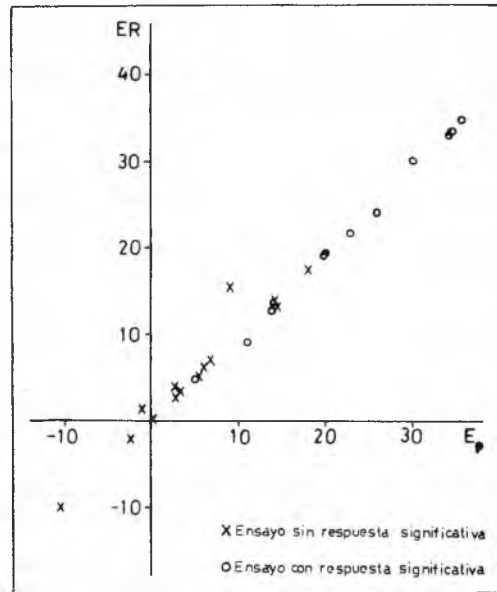


Figura 4: Relación entre la eficiencia medida a la primera dosis (ER) y la estimada mediante el modelo parabólico (E_p).

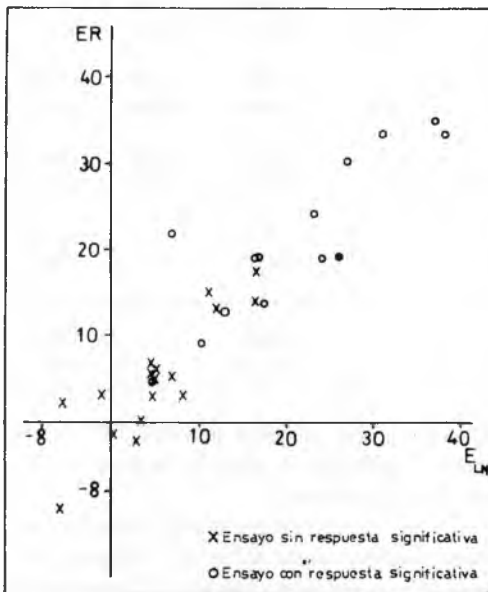


Figura 3: Relación entre la eficiencia medida a la primera dosis (ER) y la estimada mediante el modelo logarítmico (E_{LN}).

b) Análisis separado de las poblaciones de ensayos "con respuesta" y "sin respuesta"

La diferencia existente entre el R^2 obtenido para los ensayos con respuesta en relación a aquellos que no la tuvieron (55 por ciento de la población total) tiene su contrapartida en las eficiencias. Estas son también mayores en el primer grupo estando muy frecuentemente por encima de 19,00; mientras que en el segundo grupo de "no respuesta" raramente superan el valor de 7,00.

Estas diferencias llevaron a analizar en forma separada ambas poblaciones así constituidas: 14 ensayos con respuesta significativa y 17 ensayos a los que no ajustaba ninguno de los modelos estudiados. En el Cuadro 4 se consignan los RT, EF1, EF2 y RR promedio, con sus respectivos CV para cada campaña y para el conjunto de ensayos.

Se observa un aumento en la homogeneidad de los datos en el caso de las variables

CUADRO 4: Resultados obtenidos al agrupar los ensayos en poblaciones con y sin respuesta a la fertilización.

Ensayos con respuesta		Rendimientos			Eficiencias		
		Testigo	1 ^o dosis	2 ^o dosis	EF1	EF2	RR
1980/81	Promedio	5.931	6.893	6.967	16,03	8,64	1,162
	C.V.	4,70	8,16	5,56	29,52	10,56	3,47
1981/82	Promedio	5.025	6.075	6.530	26,27	18,82	1,226
	C.V.	23,56	16,96	18,09	28,44	24,44	8,23
1982/83	Promedio	5.167	5.902	5.805	18,40	8,19	1,141
	C.V.	13,49	17,53	21,49	66,04	97,61	7,16
1983/84	Promedio	4.387	5.168	5.354	19,53	12,09	1,183
	C.V.	10,53	8,28	11,78	53,79	52,51	8,58
Total de ensayos con respuesta	Promedio	5.058	5.948	--	21,11	--	1,183
	C.V.	17,76	16,04	--	44,18	--	7,42
Ensayos sin respuesta							
1980/81	Promedio	7.546	7.764	7.803	3,64	2,14	1,028
	C.V.	17,02	17,64	14,26	70,01	79,16	2,00
1981/82	Promedio	7.506	7.553	7.883	1,16	4,70	1,013
	C.V.	16,00	12,21	12,67	866,42	115,67	6,21
1982/83	Promedio	6.308	6.545	6.547	5,93	3,00	1,036
	C.V.	22,65	23,21	23,38	95,05	58,66	3,25
1983/84	Promedio	6.488	6.930	6.974	11,03	6,06	1,083
	C.V.	38,64	32,60	29,52	70,77	97,12	5,86
Total de ensayos sin respuesta	Promedio	6.913	7.136	--	5,17	--	1,037
	C.V.	22,24	20,55	--	135,49	--	4,57
Total de ensayos	Promedio	6.075	6.600	--	12,37	--	1,103
	C.V.	25,98	20,90	--	91,79	--	9,06

RT y RR. Se aprecia, asimismo, un aumento en el CV de EF1 para la población sin respuesta (135,49 por ciento).

EF1 arroja una media de 1,16 en la campaña 1981/82, mientras que el CV toma un valor de 866 por ciento, lo que es debido a la presencia de 2 ensayos con eficiencias extremas: El Bañadito (14,0 y El Salto F -10,1). El primero de estos dos casos poseyó un S₃

elevado, y el segundo no presentó "F" de regresión significativa a pesar de tener una EF1 sumamente negativa.

Surge como hecho notable la relación inversa existente entre RT y EF1. El grupo de ensayos con respuesta tiene un RT promedio de 5.058 kg/ha con una EF1 de 21,11; mientras que los ensayos sin respuestas presentan un promedio de 6.913 kg/ha y 5,17 kg maíz/

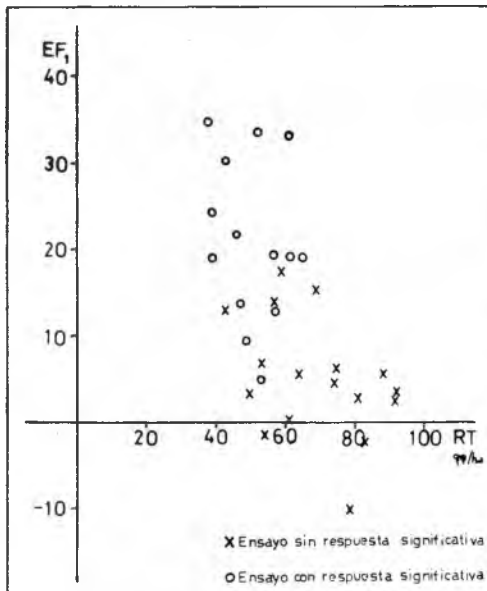


Figura 5: Relación entre la eficiencia a la primera dosis (EF1) y el rendimiento promedio del tratamiento testigo (RT).

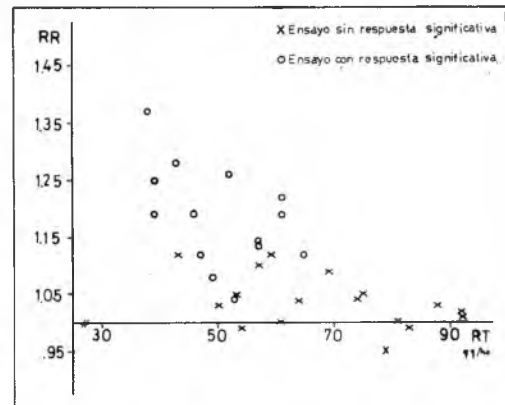


Figura 6: Relación entre el rendimiento relativo a la primera dosis (RR) y el rendimiento promedio del tratamiento testigo (RT).

kg N para RT y EF1, respectivamente. El promedio de la población compuesta por los 31 ensayos fue de 6.075 kg/ha y de 12,37 kg grano/kg N, para RT y EF1.

Debe destacarse un hecho que parece interesante y es que la EF1 se cuadruplica al pasar de una a otra población, a la vez que el RT se reduce en un 27 por ciento. El valor de RR fue un 14 por ciento superior al del conjunto de ensayos sin respuesta.

La asociación inversa entre RT y EF1 o RR se torna explícita en las Figuras 5 y 6, respectivamente. A partir de la observación de dichas figuras se llega a la conclusión de que se produce una concentración de ensayos sin respuesta significativa cuando el RT supera el valor de 60 qq/ha aproximadamente. Debe recordarse que la población de ensayos sin respuesta tenía un promedio de RT equivalente a 69,1 qq/ha (Ver Cuadro 4). Las tendencias señaladas se mantienen al graficar los promedios ponderados de las 2 variables para las poblaciones mencionadas y el total, en la Figura 7.

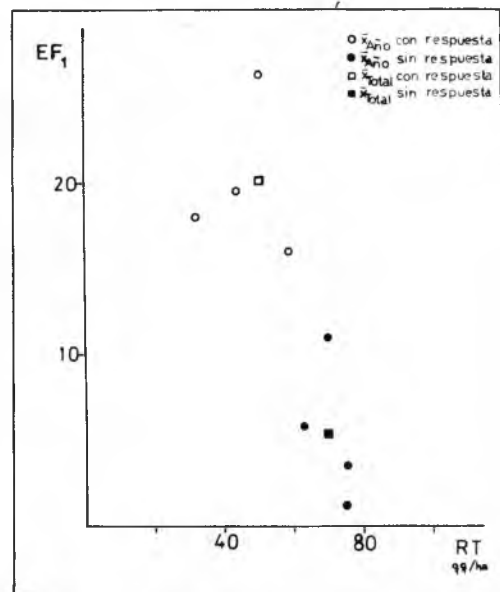


Figura 7: Relación entre el rendimiento promedio del tratamiento testigo (RT) y la eficiencia a la primera dosis (EF1). Promedios ponderados para las poblaciones con y sin respuesta y total.

CUADRO 5: Análisis de regresión según poblaciones con y sin respuesta.

	Modelo	b ₀	b ₁	b ₂	R ²	F _{reg.}	S _e	CV	E (L, LN, P)
Ensayos con respuesta									
Campaña 1980/81	L	6.072,85	8,685		56,84	5,27	450,33	6,83	8,69
	LN	5.937,24	222,790		70,92	9,66 +	370,91	5,62	15,20
	P	5.907,11	24,014	-0,12651	71,07	3,68	425,75	6,45	16,42
Campaña 1981/82	L	5.109,48	19,018 (+)		26,38	4,66 (+)	110,07	1,87	19,02
	LN	5.004,88	323,998 +		27,23	4,86 +	109,43	1,86	29,88
	P	4.989,76	35,034	-0,19732	27,86	2,32	113,41	1,93	27,14
Campaña 1982/83	L	5.300,45	8,034		7,59	0,82	990,37	17,61	8,03
	LN	5.184,61	163,511		11,18	1,26	970,94	17,26	15,08
	P	5.136,85	29,921	-0,26966	12,04	0,62	1.018,52	18,11	19,13
Campaña 1983/84	L	4.571,98	8,740 +		42,89	6,76 +	472,46	9,35	8,74
	LN	4.384,75	216,934 ++		54,17	10,64 ++	423,22	8,38	20,01
	P	4.389,59	22,338 +	-0,11729	53,21	4,55 +	453,59	8,98	17,65
Total de ensayos con respuesta	L	5.198,59	10,734 ++		15,78	7,87 ++	974,88	17,10	10,73
	LN	5.050,74	229,911 ++		18,78	9,71 ++	957,37	16,80	20,20
	P	5.047,63	23,838 ++	-0,12607	18,75	4,73 +	969,18	17,00	18,45

CUADRO 5: Análisis de regresión según poblaciones con y sin respuesta (continuación).

Modelo		b ₀	b ₁	b ₂	R ²	F _{reg.}	S _e	CV	E (L, LN, P)
Ensayos sin respuesta									
Campaña 1980/81	L	7.574,63	2,151		0,91	0,09	1.196,30	15,53	2,15
	LN	7.546,14	53,462		1,06	0,11	1.195,38	15,52	3,65
	P	7.541,02	5,260	-0,02566	1,06	0,05	1.260,04	16,35	3,72
Campaña 1981/82	L	7.454,47	4,778		2,79	0,29	996,24	13,03	4,78
	LN	7.481,59	61,544		1,65	0,17	1.002,08	13,10	5,68
	P	7.508,63	-2,467	0,08926	3,30	0,15	1.047,39	13,70	1,10
Campaña 1982/83	L	6.374,99	1,912		0,36	0,07	1.371,11	21,18	1,91
	LN	6.315,41	52,993		0,61	0,12	1.369,37	21,15	4,89
	P	6.311,12	6,855	-0,04416	0,62	0,06	1.406,84	21,73	5,09
Campaña 1983/84	L	6.648,70	2,515		0,32	0,03	2.086,74	30,75	2,52
	LN	6.514,66	88,515		0,81	0,07	2.081,61	30,67	8,16
	P	6.480,02	15,090	-0,10847	1,11	0,05	2.204,53	32,48	10,75
Total de ensayos sin respuesta	L	6.943,33	2,760		0,65	0,36	1.451,58	20,48	2,76
	LN	6.902,58	62,522		0,74	0,40	1.450,93	20,48	5,35
	P	6.873,82	8,330	-0,04937	0,94	0,25	1.463,07	20,65	6,14

CUADRO 5: Análisis de regresión según poblaciones con y sin respuesta (continuación).

	Modelo	b ₀	b ₁	b ₂	R ²	F _{reg.}	S _e	CV	E (L, LN, P)
Total de ensayos									
Campaña 1980/81	L	7.074,04	4,329		3,75	0,62	1.130,06	15,41	4,33
	LN	7.009,84	109,905		4,57	0,77	1.125,23	15,34	7,50
	P	6.996,38	11,511	-0,05928	4,58	0,36	1.162,08	15,84	7,95
Campaña 1981/82	L	6.151,70	12,689		8,61	2,36	1.385,37	20,79	12,69
	LN	6.105,64	207,352		8,18	2,23	1.388,66	20,84	19,12
	P	6.109,26	18,367	-0,06995	8,75	1,15	1.412,89	21,20	15,57
Campaña 1982/83	L	5.928,57	4,970		2,31	0,73	1.279,77	20,76	4,97
	LN	5.852,72	108,395		2,78	0,89	1.276,66	20,71	10,00
	P	5.878,35	9,178	-0,04017	2,51	0,39	1.299,58	21,08	7,57
Campaña 1983/84	L	5.610,34	5,627		2,11	0,43	1.705,09	28,81	5,63
	LN	5.449,71	152,724		3,18	0,66	1.695,71	28,65	14,09
	P	5.434,81	18,714	-0,11288	3,24	0,32	1.739,24	29,38	14,20
Total de ensayos	L	6.129,64	6,593		3,40	3,45	1.436,42	22,25	6,59
	LN	6.058,59	137,74		3,50	3,55	1.435,68	22,24	11,92
	P	6.064,59	11,943	-0,04888	3,66	1,84	1.441,85	22,23	9,81

+ significativo al 5 por ciento.

++ significativo al 1 por ciento.

() cercano al límite significativo indicado.

En el Cuadro 5 se presentan los resultados de los análisis de regresión de rendimientos en función de dosis de nitrógeno para las poblaciones con y sin respuesta y total.

Se comprueba la desaparición de la significancia para algunos modelos, especialmente en el año 1982/83 de gran variabilidad en cuanto a RT y EF1. Si bien se mantiene la ausencia de modelos de regresión significativos en la población sin respuesta, sorprende descubrir que la población global tampoco admite el ajuste de modelo alguno. El R^2 no supera en este caso el 4 por ciento, lo que confirma el valor de 6 por ciento hallado por Novello *et al.* (1979) para su población de 42 ensayos.

En la Figura 8 puede apreciarse que la función de respuesta cuadrática, ajustada para el grupo de ensayos con respuesta significativa, sigue una tendencia más marcadamente curvilínea que en el caso de ensayos sin respuesta. El coeficiente de determinación resultó ser también mayor en el primer caso que el segundo (18,8 y 0,9 por ciento, respectivamente).

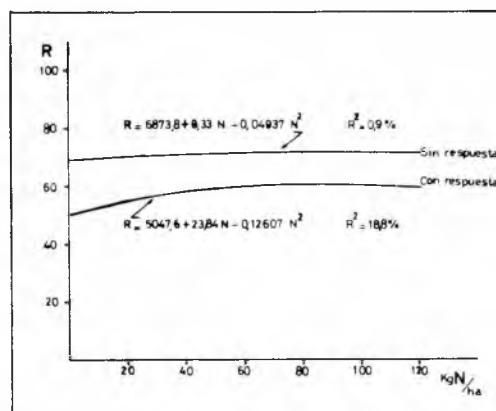


Figura 8: Evolución del rendimiento de maíz en función de la dosis de nitrógeno aplicada. Poblaciones con y sin respuesta.

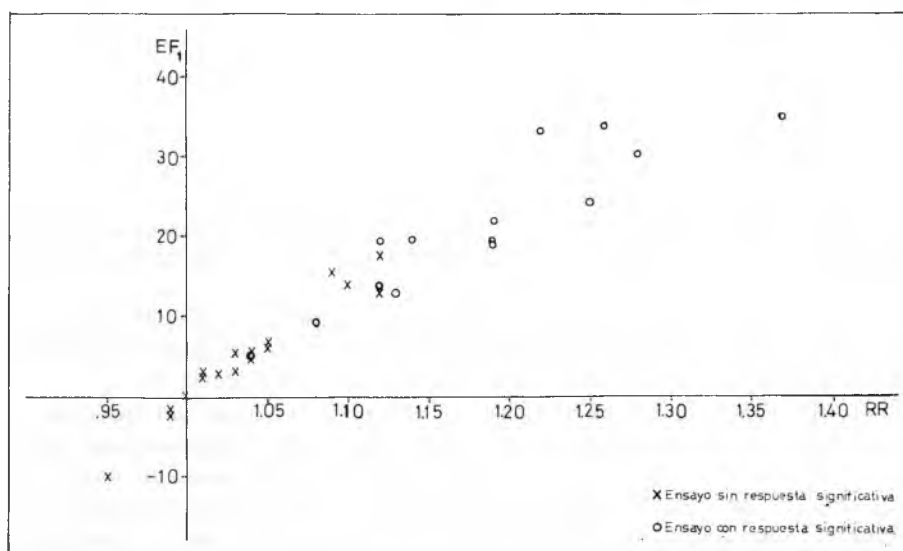


Figura 9: Relación entre la eficiencia a la primera dosis (EF1) y el rendimiento relativo (RR).

c) Influencia de otras variables ambientales sobre la respuesta del maíz a la fertilización nitrogenada

Según se ha visto, la concentración de ensayos con alta significancia de respuesta se produce hacia la zona de bajos valores de RT. Este hecho sumado a la mayor dispersión presentada por los puntos obtenidos al graficar RR versus EF1, en la zona correspondiente a dichos RT (Ver Figura 9) indujo a considerar la interacción del nivel de fertilidad nitrogenada con el resto de los factores ambientales.

Se procedió a explorar la relación entre los coeficientes de determinación R^2 y los parámetros estadísticos que miden la variabilidad "remanente" luego de descontar el efecto del modelo planteado. En la Figura 10

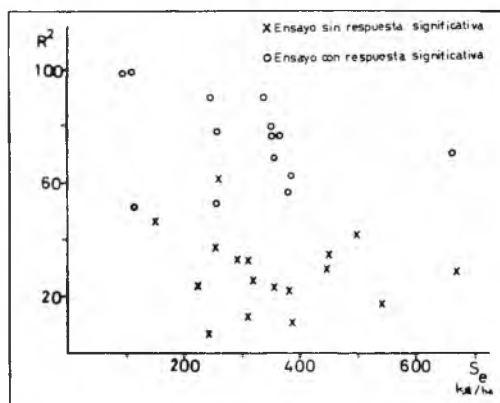


Figura 10. Relación entre el coeficiente de determinación (R^2) y la raíz cuadrada del CMR (S_e).

se han graficado los puntos correspondientes a los modelos parabólicos (Ver Cuadro 3) y en él no es dable apreciar que el aumento en el R^2 se efectúe a costa de una reducción en el S_e .

Al graficar la componente lineal versus la componente cuadrática (b_1 y b_2 , respectivamente en la ecuación III) se observa una marcada asociación entre ambos (Ver Figura 11). Esta interacción sugiere una especie

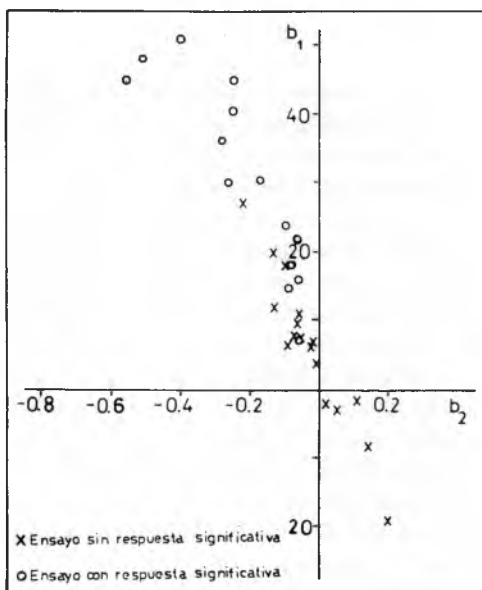


Figura 11: Relación entre la componente lineal (b_1) y la componente cuadrática (b_2) en el modelo parabólico.

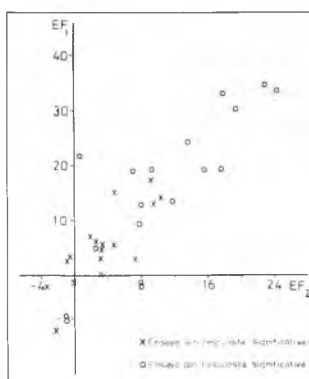


Figura 12: Relación entre la eficiencia a la primera dosis (EF1) y la eficiencia a la segunda dosis (EF2).

de autorregulación en el fenómeno de respuesta, la que se confirma al graficar EF1 en relación a EF2, en la Figura 12.

Relaciones de igual naturaleza que las encontradas entre los parámetros de respuesta y el nivel de rendimiento del tratamiento testigo (RT) parecen estar implícitas en los datos publicados por otros investigadores (Vivas *et al.*, 1980; Novello *et al.*, 1979).

La curvatura de las funciones de respuesta al agregado de fertilizante nitrogena-

do observada a bajos valores de RT sugieren la existencia de otros factores limitantes para la producción de maíz. Estas variables "de sitio" (nutrientes provistos por el suelo, disponibilidad de agua, control inicial de las malezas, etc.) entran en fuerte interacción con el nivel de nitrógeno aplicado, lo que introduce un alejamiento de la linealidad en la respuesta del cultivo a medida que se superan los niveles de producción de 70-80 qq/ha.

Surge, dentro de este contexto, la evidente necesidad de desarrollar métodos de diagnóstico que permitan modelar en forma continua parámetros de respuesta (RR o EF1) los que parecen presentar, en el caso del maíz, una sensible tendencia a la discontinuidad y fuerte dependencia de otros factores del ambiente.

CONCLUSIONES

A partir de lo expuesto pueden extraerse las siguientes conclusiones:

- 1) Los rendimientos correspondientes al tratamiento testigo y a la primera dosis (44 kg N/ha en promedio) fueron en promedio de 6.075 y 6.600 kg grano/ha, respectivamente y a través de las 4 campañas estudiadas. La eficiencia a la primera dosis fue de 12,37 kg grano/kg N, en tanto que el rendimiento relativo a la primera dosis fue de 1,103. Las eficiencias a la segunda dosis fueron siempre menores que las correspondientes a la primera. Se registró un 45 por ciento de ensayos con respuesta significativa a la aplicación de N, aunque el tratamiento de los datos en conjunto no arrojó respuesta significativa.
- 2) La respuesta del cultivo de maíz a la aplicación de la primera dosis estuvo fuertemente condicionada por el nivel

del rendimiento del tratamiento testigo. Para un promedio de 61 qq/ha, medido en los 31 ensayos, EF1 tuvo un promedio de 12,4 kg grano/kg N. Al separar los ensayos en grupos de respuesta y no respuesta, la eficiencia pasa a promediar 21,0 y 5,2 respectivamente, a la vez que el RT toma valores de 51 y 69 qq/ha. La cifra de 70 qq/ha para el RT se manifestó como un límite por encima del cual la respuesta a la fertilización nitrogenada arroja valores no significativos.

- 3) Las situaciones de alta respuesta a la aplicación del fertilizante coincidieron con el ajuste de curvas parabólicas que denotan la interacción con otros factores ambientales (N edáfico, disponibilidad de agua, etc.) igualmente limitantes del RT. Este hecho se tradujo en componentes cuadráticos crecientemente negativos a medida que disminuye el RT.
- 4) La elevada variabilidad de los parámetros de respuesta a nitrógeno asegura la posibilidad de llegar al desarrollo de modelos explicativos o predictivos del comportamiento del cultivo de maíz, a través de técnicas de análisis multivariado.

BIBLIOGRAFIA

- 1) Berardo, A.; J. P. Culot; N. A. Darwich y J. A. Duarte, 1974. Evaluación del potencial de producción y de la respuesta a la fertilización del cultivo de maíz en los partidos de Gral. Alvarado, Gral. Pueyrredón y Balcarce. II Reunión Nacional de Fertilidad y Fertilizantes. *Actas*. Sociedad Científica Argentina. Buenos Aires.
- 2) Bonel, J. A.; R. Novello; R. I. Legasa; B. L. Masiero y G. Ayub, 1977. Métodos de diagnóstico para el asesoramiento técnico de fertilización nitrogenada del trigo y del maíz. III Reunión Nacional de Fertilidad y Fertilizantes. *Actas*. Facultas de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires.
- 3) Novello, R.; B. L. Masiello; M. A. Peretti y J.

- A. Bonel, 1979. Evaluación de la respuesta del cultivo de maíz a la fertilización ante distintos niveles de factores de productividad que afectan sus rendimientos. *Informe técnico* N° 100. EERA (INTA). Marcos Juárez.
- 4) Puricelli, C. A.; P. Novello; J. A. Bonel y M. Zanelli, 1965. Pruebas de fertilización de maíz en la Región Maicera Central Norte. *Informe técnico* N° 5. EERA (INTA) Marcos Juárez.
- 5) Senigagliesi, C.; R. J. García y M. Galetto, 1979. Respuesta de la fertilización nitrogenada en maíz en diferentes alternativas de cultivos. *Carpeta de Producción Vegetal*. Tomo II. EERA (INTA) Pergamino.
- 6) Vivas, M.; R. Moresco; S. Cambaulo y O. Quaino, 1980. Evaluación de los rendimientos de maíz fertilizado en relación con distintos factores de productividad. Novena Reunión Argentina de la Ciencia del Suelo. *Actas*, Tomo II, pp 549-561. Paraná (Entre Ríos).
- 7) Zaffanella, M. J. R., 1975. Posibilidades actuales de los fertilizantes para lograr mayores rendimientos maiceros en la pampa húmeda. *Tirada interna* N° 60. Instituto de Suelos y Agrotecnia. INTA (Buenos Aires).